

## 船生演習林における過去31年間（1975～2006年）のアカマツ林の林相変化

The landscape change of Red pine forests in the last 31 years  
(1975–2006) in Utsunomiya University Forests at Funyu中山みどり<sup>1</sup>・逢沢峰昭<sup>1</sup>・松英恵吾<sup>1</sup>・大久保達弘<sup>1</sup>Midori NAKAYAMA<sup>1</sup>, Mineaki AIZAWA<sup>1</sup>, Keigo MATSUE<sup>1</sup>, Tatsuhiko OHKUBO<sup>1</sup><sup>1</sup>宇都宮大学農学部森林科学科 〒321-8505 宇都宮市峰町350<sup>1</sup>Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Utsunomiya University,  
350 Mine-machi, Utsunomiya, 321-8505, Tochigi, Japan

## 要 旨

宇都宮大学農学部附属船生演習林において、1975年から2006年までの過去31年間のアカマツ林の林相変化を、空中写真解析と毎木調査によって明らかにした。まず空中写真解析によって1975年、1986年、1995年および2006年のアカマツ林の分布図を作成し、アカマツ林の林分面積と林相変化を調べた。これを基にして毎木調査を行い、異なる林相変化を遂げてきたアカマツ林の林分構造を調べた。空中写真解析の結果、アカマツ林は主としてヒノキ人工林の拡大造林によって年々減少していた。各林分の樹種別胸高断面積合計を用いてクラスター分析を行ったところ、アカマツ林の林分構造には、アカマツ優占型、アブラツツジ優占型、スギ・ヒノキ衰退型および落葉広葉樹移行型の主要な4つの林分タイプがみられた。これらの結果から、過去31年間のアカマツ林の林相変化にはヒノキの拡大造林が大きく影響していたこと、大規模面積のマツ枯れは生じなかったことが示唆された。また、現在のアカマツ林は4つの林分タイプごとに今後異なった遷移系列を示すことが示唆された。

キーワード：アカマツ林、空中写真、船生演習林、林相変化、林分構造

## ABSTRACT

We aimed to delineate the landscape change of Red pine (*Pinus densiflora*) forests in the last 31 years (1975–2006) based on the aerial photo analysis and tree survey in Utsunomiya University Forests at Funyu, northern Tochigi. We made landscape maps of the red pine forests using four aerial photos taken in 1975, 1986, 1995 and 2006 and assessed the changes of area and landscape mosaic of the forests. On the basis of the maps, we conducted tree surveys in Red pine forest stands in which the different patterns of landscape change were observed in the last 31 years. The aerial photo analysis indicated that the area of the red pine forests became decreasing year by year mainly due to replacement by Hinoki cypress plantations. Cluster analysis using tree survey data classified four main stand structural types, Red pine dominant type, *Enkianthus subsessilis* dominant type, deterioration type of Japanese cedar and Hinoki cypress planted, and succession type toward broad-leaved deciduous forest. These results reveal that the landscape changes of the red pine forests in the last 31 years were occurred mostly due to the afforestation of Hinoki cypress and an extensive death of the pines by pine wilt disease was not taken place, and suggest that the present Red pine forests may exhibit different patterns of succession in the four respective stand structural types.

**Key Words:** Aerial photo, Landscape change, Red pine forest, Stand structure, University Forests at Funyu

## はじめに

里山に広がるマツ林は、長い歴史の中で、木材の伐採、落葉採取、薪や柴の採取といった林地からの有機物の収奪の繰り返しによって遷移の進行が妨げられることで維持されてきたといわれている<sup>20)</sup>。しかし、1950年代後半以降の燃料革命によって、これらの収奪が停止し、マツ林の下層には広葉樹が段階的に侵入し、二次遷移が進行していった。このような林分構造の変化に加えてマツ枯れ被害が1979年をピークに広がり<sup>15)</sup>、マツ林の林分構造や林相に大きな影響を及ぼした。マツ枯れ被害後の林分の変化には、落葉広葉樹林へ変化する場合や林冠層が高木性樹種によって閉鎖されない場合などいくつかのパターンが存在し、その林相変化の方向性は地形の違いやマツ枯れ以前の林分構造の影響を受けている<sup>11)</sup>。また、林冠が失われたマツ枯れ後の林分は、マツ枯れ以前の状態よりも水の流出量が増加し、災害の要因となる可能性も指摘されている<sup>1)</sup>。したがって、アカマツ林の林相変化や林分構造を把握することは、適切な森林管理を行うに当たって重要であると考えられる。

宇都宮大学農学部附属船生演習林（以下、船生演習林）に広がるアカマツ *Pinus densiflora* 天然林の自然植生は、薄井<sup>23)</sup>によって植物社会学的にアカマツ-ヤマツツジ群集と命名され、尾根筋から谷筋まで広くおよんでいる。アカマツ-ヤマツツジ群集の中でもクロヒナスゲ亜群集は、船生演習林の大部分を占めるアカマツの生育適地であり、尾根すじ直下の急斜面においてさえも非常に伸びのあるアカマツ林分が見られる。しかし、船生演習林では1960年代から1970年代において、国内の高度経済成長に伴った木材需要の急増、木材価格の高騰を背景に、アカマツの適地にまでスギ、ヒノキの拡大造林が行われた。また、1980年代前後には全国的に大きな被害を及ぼしたマツ枯れの影響を受けた可能性がある。このように、船生演習林においては、過去から現在までの間にアカマツ林の林相に大きな変化が生じたことが予想される。このようなアカマツ林の時系列上の変化は、林相変化といった面的な視点と、林分構成種の生残・成長といった構造変化の視点から捉える必要がある。

本研究は、船生演習林において、(1) 空中写真解析により1970年代から現在までのアカマツ林の分布図を作成し、アカマツ林の面的な時系列上の変化を明らかにした上で、(2) 現在のアカマツ林の林分構造を毎木調査により把握し、今後の林分構造の変化を予測することを目的として行った。

## 調査地および方法

## 1. 調査地概況

船生演習林は、栃木県塩谷郡塩谷町の北緯36°40'～36°49'、東経139°47'～139°51'に位置し、標高260m～597m、総面積は538.77haである。南団地（1～3林班）と北団地（4～10林班）に二分されている。年間平均気温は11.9℃、年間平均降水量は1556.7mm、年間平均湿度は81.1%であり、夏期の雷雨と冬期の寒風・乾燥、および2月下旬に降る湿潤な雪が特徴で

ある。

船生演習林の基岩は第三紀層石英粗面岩で、これを関東ロームが被っている。この基岩が風化した土壌は一般に不良であり、樹種では天然生のアカマツが優勢だが、現在は改植されてヒノキやスギを主体とした人工林が増加している。また、自然植生としての主な樹種はアカマツ、コナラ、モンゴリナラ類、クリ、エゴノキ、アカシデおよびヤマツツジなどで、アカマツ-ヤマツツジ群集が発達している<sup>21)</sup>。なお、船生演習林では大陸部に分布するモンゴリナラ (*Quercus mongolica* var. *mongolica*) と形態的に酷似するナラがみられる<sup>5)</sup>。一方で、演習林の高標高域にはミズナラ (*Q. mongolica* var. *crispula*) に似たナラもみられ、この2つのナラの分類学的位置づけには諸説がある。したがって、本研究ではこのナラを一括して“*Q. mongolica*”として扱い、便宜上、“モンゴリナラ類”と呼んだ。

## 2. 空中写真解析

## 簡易オルソフォト作成

国土地理院撮影・刊行の1975年、1986年、1995年および2006年撮影の空中写真（表1）とGISソフトTNTmips2005-71（Micro Images社, USA）を使用して船生演習林全域の簡易オルソフォト（以下、簡易

表1 使用した空中写真の詳細

撮影年	1975年	1986年	1995年	2006年
種別	カラー	白黒	白黒	白黒
縮尺	1/10,000	1/20,000～1/30,000	1/25,000	1/30,000
撮影高度	1,800m	-	4,100m	4,700m
撮影月	10月	6月	10月	8月
焦点距離	153.09mm	153.43mm	152.66mm	152.58mm
写真番号	CKT-75-8 C4-10～13 CKT-75-8 C5-11～13 CKT-75-8 C6-11～12	KT-86-1X C2-6～7 KT-86-1X C3-5～6	KT-95-1X C2-5～6	KT-2006-2X C2-4～6

オルソ）を作成した。なお、“簡易オルソ”とは組写真の代わりに単写真と既存の数値標高モデル（Digital Elevation Model: DEM）（後述）を利用する方法である。簡易オルソを作成するにあたり、全ての撮影年の密着焼き空中写真を解像度800dpiに設定したフラットベッドスキャナで取り込んで使用した。はじめに1975年の空中写真を、船生演習林基本図、船生演習林現況図および塩谷町森林基本図を参照してジオリファレンスし、オルソ補正を行った。その際、標高データには既存の10m×10mメッシュの船生演習林のDEMを使用した。他の撮影年の空中写真については、先に作成した1975年の簡易オルソを参照し、ジオリファレンスした。簡易オルソを作成するに当たって、空中写真1枚当たりのGCP（Ground Control Point）取得数が多いほどオルソ補正の精度は向上するが、作業効率を考えると10点程度で良い<sup>8)</sup>ことを考慮して、今回GCPは空中写真1枚に対し、7点～13点取得した。また、本研究では船生演習林外のオルソ補正については考慮せず、空中写真に写る演習林域のみで局所的にGCPを取得してオルソ補正を行ったため、7点という



少ない GCP でも十分にその精度を高めることができた。

#### 樹種判読

渡辺<sup>25)</sup> および加藤<sup>6)</sup> の樹種判読基準と、当該樹種の立地条件等を考慮して樹種判読を行った。カラー写真における各樹種の色調の判読基準は、船生演習林の1975年のカラー写真を基にした。また、船生演習林における森林調査簿、経営計画説明書および林況図も樹種判読の際の参考資料として使用した。

#### アカツ林分布図の作成

船生演習林の1975年、1986年、1995年および2006年の空中写真を双眼実体視鏡を用いて立体視することで林相の識別をし、TNTmips 2005-71 を使用して簡易オルソ上にアカツ林の分布図を作成した。立体視は、1975年の空中写真については密着焼き写真を、1986年、1995年および2006年の空中写真については二倍引き伸ばしにした写真を使用した。手順としては、まず1975年の簡易オルソ上に判読したアカツ林をポリゴンで囲み、船生演習林全域におけるアカツ林の分布を示したベクタを作成した。このベクタを基に、さらに1986年の簡易オルソ上にアカツ林のポリゴンを作成し、アカツ林の分布拡大、他の林分への変化を把握した。1995年と2006年についても同様の処理を行い、過去31年間のアカツ林の分布変化を把握した。この際、分布図における林相区分はアカツ、落葉広葉樹、ヒノキ、スギおよび裸地の5つとした。なお、本研究における“アカツ林”とは簡易オルソ上で判読可能なアカツ個体のまとまり（最小面積は35.6㎡）と定義した。

#### 各林分タイプの面積の変化

本研究では、空中写真解析から1975年の時点でアカツ林であった林を調査対象とした。その面積の増減を調べるため、作成したアカツ林分布図のベクタから、ポリゴンの面積を各林相の面積として算出した。1975年時点でアカツ林であったポリゴンの面積合計から、その他の林相へ変化したポリゴンの面積をそれぞれ求めた。ただし、1975年時点ではアカツ林ではなかったが、1986年以降に、例えばヒノキ人工林にアカツが侵入するなどしてアカツ林として成立した林は、“新規アカツ林”として面積を算出した。また、比較的大きなアカツ林の林相変化（ヒノキ人工林への改植等）がみられた林班については、船生演習林の林班沿革簿で施行時期と内容の確認を行った。なお、船生演習林においては、現在まで分割・統合の行われた小班も少なくない。本研究では特に断りのない限り、2008年時点での小班名を使用した。

### 3. アカツ林の林分構造

#### 毎木調査

作成したアカツ林の分布図から、過去31年間にアカツ林の分布変化がみられた箇所および31年間アカツ林であった箇所を対象とし、その林分構造を把握するために2008年8月から10月にかけて毎木調査を行った。

対象地に10m × 10m プロットおよびその中心に

5m × 5m プロットを設置した。10m × 10m プロットでは、胸高直径（以下、DBH）5cm 以上の木本性樹種について種名、DBH（cm）、樹高（m）を記録した。このとき、アカツについては枯死木も含め DBH を記録した。5m × 5m プロットでは、DBH5cm 未満、樹高1.3m 以上の木本性樹種について種名、樹高を記録した。

#### アカツ個体の樹冠の健全度

毎木調査において、尾崎ほか<sup>14)</sup> を参考にしてアカツ個体の樹冠の健全度を、枯死、不健全および健全の3段階で記録した。ここで、樹冠の1/3～2/3以上が枯れている個体を不健全、樹冠がよく繁り枯れ枝が樹冠の1/3以下である個体を健全とした。

#### データ解析

毎木調査によって得たデータに対して PC-ORD version 5<sup>13)</sup> を用いてクラスター分析を行い、各調査プロット間の類似性を基に林分タイプを決定した。このとき DBH5cm 以上の樹種については各樹種の胸高断面面積（以下、BA）合計を、DBH5cm 未満の樹種については各樹種の出現幹数を量的尺度とした。クラスター分析は Ward 法およびユークリッド距離を用いた。樹形図上の距離（distance）の表示尺度は、Wishart's (1969) objective function で表した<sup>12, 26)</sup>。

### 結 果

#### 1. アカツ林の分布と面積変化

アカツ林から各林分への面積変化を図1に示した。また、1975年、1986年、1995年および2006年の船生演習林におけるアカツ林の分布図を図2に示した。

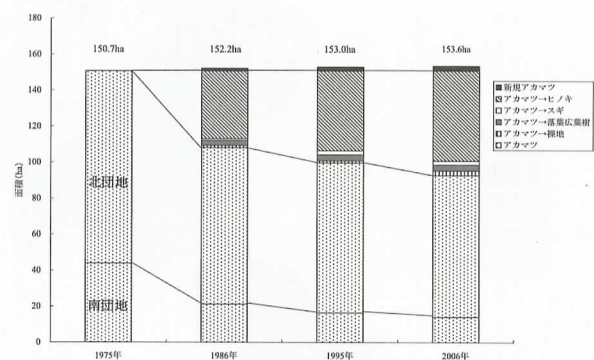


図1 船生演習林におけるアカツ林の面積の推移

1975年のアカツ林面積は船生演習林全体（538.77ha）の約28%を占めていた。凡例中の例えば、“アカツ→ヒノキ”は、1975年の時点でアカツ林であったが、それ以降にヒノキ人工林に変わった面積を表す。“新規アカツ”は1975年にアカツ林ではなかったがそれ以降にアカツ林に代わった面積を表す。

#### 1975年の分布（図2a）

船生演習林における1975年のアカツ林の面積は150.7haであり、これは演習林全体の面積の約28%であった。南団地ではアカツ林が広く分布し、その面積は43.9haで、南団地の面積の約40%を占めていた。また、北団地では4林班、5林班および6林班においても尾根沿いから斜面下部にいたるまでアカツ林が広く分布していた。一方、7林班および8林班では尾根沿いから斜面上部にのみアカツ林が分布し、代わ

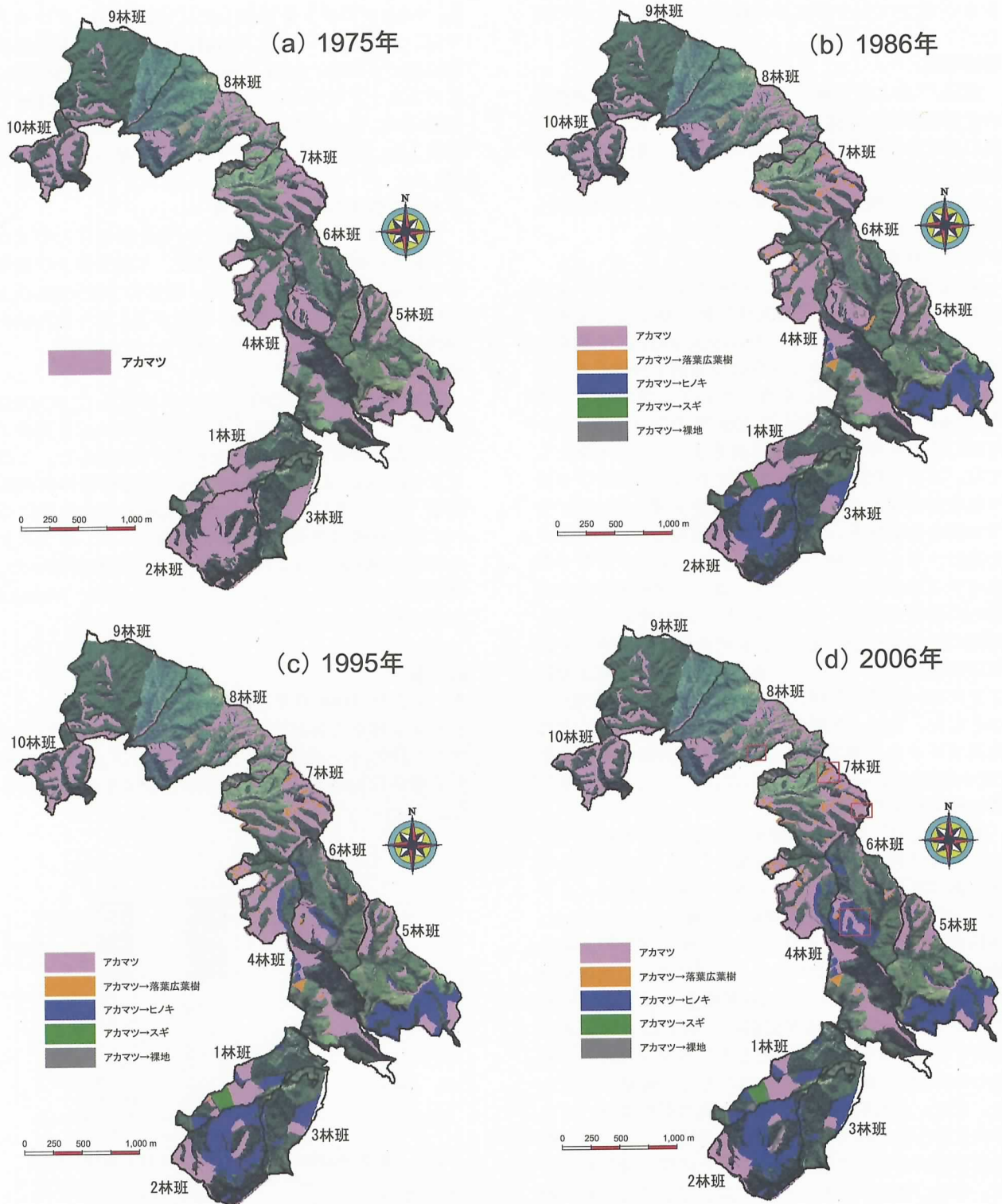


図2 船生演習林におけるアカマツ林の過去31年間の林相変化

凡例中の例えば、「アカマツ・ヒノキ」は、1975年にアカマツ林であったが、それ以降にヒノキ人工林に変わった林分を表す。図(d)中の赤枠は毎木調査を行った林分位置を示す。図上から順に8林班わ小班、7林班と小班、7林班<sub>1</sub>小班、および6林班ろ小班である。

りに斜面には植栽直後のヒノキとスギが確認できた。林班沿革簿によると、これらのスギ・ヒノキの林齢は1975年時点で7林班においては2～4年、8林班においては5～10年であった。

#### 31年間のアカマツ林の分布と面積変化

1986年(図2b)には南団地中央部、5林班に分布していたアカマツ林がなくなっていた。林班沿革簿によると、これらの場所は1975～1982年にかけて順次

皆伐が行われ、その跡地にヒノキおよびスギが新植されていた。また、6林班ろ小班では尾根沿いを中心に裸地が見られた。この裸地は、林班沿革簿から判断して、1986年当時の旧ろ小班(現在のろ小班およびろ<sub>1</sub>～ろ<sub>6</sub>小班に相当)において1975年～1979年に行われたアカマツを含む広葉樹の伐採(一部は製炭実習用の皆伐)と、1984年のい<sub>1</sub>小班と1985年のい<sub>2</sub>小班的皆伐によるものと考えられた。4林班および7林



班では谷から斜面下部に存在した落葉広葉樹林が拡大し、尾根沿いに分布していたアカマツ林が落葉広葉樹林へ変化していた。一方、尾根沿いを中心に8林班、9林班および10林班などで、わずかながらアカマツ林の拡大も確認できた。1986年におけるアカマツ林の面積は、108.1haと1975年から42.6ha減少し、その跡地に造成されたヒノキ人工林は37.6haになっていた（図1）。アカマツ林から落葉広葉樹林へ変化した面積は2.8haだった。新規に成立したアカマツ林は1.5haであった。

1995年（図2c）には南団地のアカマツ林（1林班い<sub>1</sub>、ろ<sub>15</sub>、ろ<sub>24</sub>、ろ<sub>25</sub>および3林班を<sub>2</sub>など）はさらに減少し、その跡地もまたヒノキおよびスギ人工林となっていた。1986年時点に6林班において裸地として確認されたい<sub>1</sub>小班とい<sub>2</sub>小班は、それぞれ皆伐翌年に新植されたヒノキ人工林となっていた。これらと隣接するい<sub>3</sub>小班、い<sub>4</sub>小班、ろ<sub>2</sub>小班的アカマツ林は、林班沿革簿によると、それぞれ1986年、1987年、1994年に皆伐されていた。4林班および7林班ではアカマツ林から落葉広葉樹林への変化がさらに拡大していた。また、4林班では斜面上に広がっていたアカマツ林（と小班）が、林班沿革簿によると、1987年に皆伐され、翌年にヒノキが新植されていた。8林班では斜面に植栽されたヒノキが成長し、斜面上部ではアカマツ林の林冠に達している箇所がわずかにみられた。1995年におけるアカマツ林の面積は99.7haと減少し、その跡地に造成されたヒノキ人工林は44.3ha、アカマツ林から変化した落葉広葉樹林は3.3haと増加していた（図1）。新規アカマツ林も2.2haと増加していた。

2006年（図2d）には南団地のアカマツ林はほとんどがなくなり、ヒノキやスギの造林地となっていた。6林班において、1975年には斜面一面に広がっていたアカマツ林が、尾根沿い（ろ小班）を残して全てヒノキ人工林へと替わっていた。林班沿革簿によると、これらのヒノキ人工林は1995～1998年にかけて順次皆伐が行われ、翌年新植されたものであった。一方、9林班および10林班に分布するアカマツ林の分布は1975年以降の31年間でほとんど変化はなかった。2006年におけるアカマツ林の面積は92.8haと1975年時の約60%にまで減少していた（図1）。これに対してその跡地に造成されたヒノキ人工林は50.1ha、アカマツ林から変化した落葉広葉樹林は3.4haと増加していた。新規アカマツ林は2.6haとわずかに増加していた。

## 2. アカマツ林の林分構造

### アカマツ林の毎木調査区の選定と林分構造

作成した過去31年間のアカマツ林の分布図から、アカマツ林の林相変化のみられた8林班わ小班（Plot8-1から8-6）、7林班と小班（Plot7-4から7-6）、7林班り<sub>1</sub>小班（Plot7-1から7-3）、6林班ろ小班（Plot6-1から6-3）の4ヶ所に毎木調査区を設置した（図2d）。8林班わ小班は、1975年時点では植栽後間もないヒノキ人工林であった。しかし、1986年には尾根からア

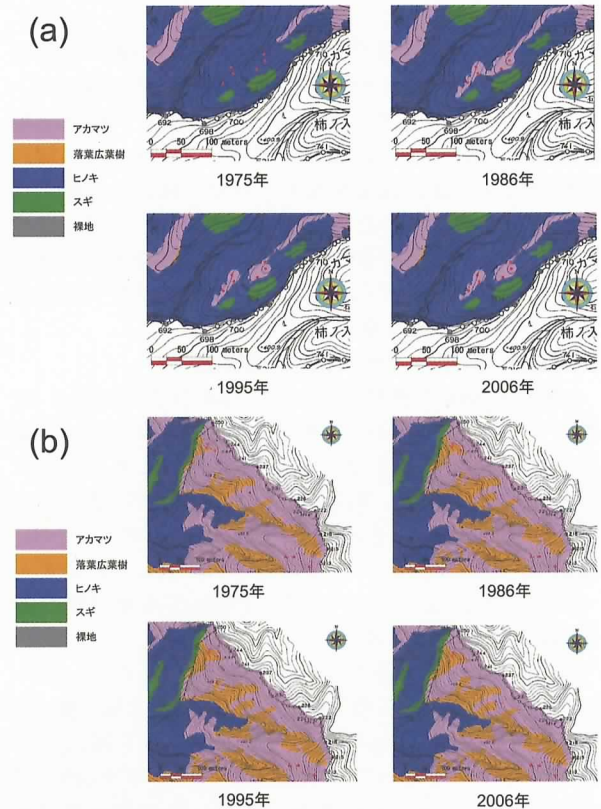


図3 船生演習林における過去31年間の林相変化

(a) 8林班わ小班。(b) 7林班と小班（北側の3つの赤点）と7林班り<sub>1</sub>小班（南側の3つの赤点）。赤点は毎木調査プロットの位置を示す。

カマツが侵入し、ヒノキ人工林であった所に新規のアカマツ林が0.27ha成立していた。その後、1995年および2006年と一部が再びヒノキ人工林となっていた。調査プロットは1986年以降アカマツ林となっている所に6ヶ所設置した（図3a）。ここは、樹高10～12mほどで直径も小さいアカマツが林冠層を形成し、そのやや下層には植栽されたスギ、ヒノキがみられた。亜高木層（およそ5～12m）、低木層（およそ5m以下）にはリョウブ、ネジキなどの亜高木種が多く、バイカツツジなどツツジ科の低木も少しみられた。

7林班と小班および7林班り<sub>1</sub>小班にはそれぞれ3ヶ所ずつ調査プロットを設置した（図3b）。7林班と小班は1975年にはアカマツ林であったが、それに隣接した落葉広葉樹林が拡大し、1986年には落葉広葉樹林へと変わっていた。その後も1995年および2006年とこの落葉広葉樹林は少しずつではあるが拡大し、0.3haがアカマツ林から落葉広葉樹林へと変化した。この周囲では、7林班と小班のように谷部に位置する落葉広葉樹林が31年間に次第に拡大し、アカマツ林から落葉広葉樹林へと変わっている所がしばしばみられた。林冠層はコナラなどの落葉広葉樹により形成されているが、その林冠を越す大きなアカマツの枯死木があった。低木はほとんどなく、10m前後にイヌブナ、アカシデなどの高木性落葉広葉樹がみられた。7林班り<sub>1</sub>小班は1975年以降アカマツ林であった。ここは、アカマツの大径木（最大68.4cm）が林冠層を形成し、樹高20mほどの大きなアカマツもみられた。亜高木層にはアカシデ、モンゴリナラ類などの落葉広葉樹が、低木層にはシロヤシオ、アカヤシオなどが少量みられ

た。

6林班ろ小班周辺では、1975年には尾根から斜面下部までアカマツ林が広がっていたが、その後伐採ヒノキ造林がなされ、2006年にはアカマツ林は尾根沿いの6林班ろ小班に1.93ha残すのみとなっていた。調査プロットは、伐採されずアカマツ林として残された所に3ヶ所設置した。ここは、樹高12~13mほどのアカマツが林冠層を形成していた。亜高木層にはリョウブ、ネジギが多く、低木層にはアブラツツジなどツツジ科樹種が多く密生していた。

胸高直径 (DBH) 5cm 以上の樹種組成

DBH  $\geq 5$ cm の樹種について、BA 合計 ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) に基づくクラスター分析の結果を図 4a に示した。各調査プロットは図 4a の矢印の位置で区切ると 4 つのグループに分かれた。Plot6-1、6-2、6-3、7-1、8-5 をグループ A、Plot8-1、8-2、8-3、8-4、8-6 をグループ B、Plot7-4、7-5、7-6 をグループ C、Plot7-2、7-3 をグループ D とし、このグループ毎の相対胸高断面積合計 (RBA, %) を表 2 に示した。

表2において、各グループの特徴を見ると、グループAはアカマツのRBAが45.3～81.3%（BA合計、30.0～41.1m<sup>2</sup>/ha）と、アカマツが最も優占しているグループであった。アカマツ枯死木もPlot6-2では唯一RBAが30.3%と高かったが、他のPlotではあまり見られなかった。グループBでは優占種は同じくアカマツであるが、BA合計はグループAと比べて小さく（14.7～24.5m<sup>2</sup>/ha）とどまった。さらに、グループBには他の調査プロットにはないスギ、ヒノキが存在し、これらRBAがアカマツと同程度みられた。グループCはアカマツのBA合計が他と比べて非常に大きく（56.2～72.4m<sup>2</sup>/ha）、そのRBAは全プロットで80%を超えていた。アカマツ枯死木が4グル

ープの中で全く見られなかったのはグループ C のみであった。グループ D は他の調査プロットと異なってアカマツの生存木がなく、枯死木のみがみられた。Plot7-2 ではコナラの RBA が 33.7%、Plot7-3 ではハリギリの RBA が 37.8%と落葉広葉樹の中でも大きい、プロット内ではアカマツの枯死木が最も高い RBA を示していた。

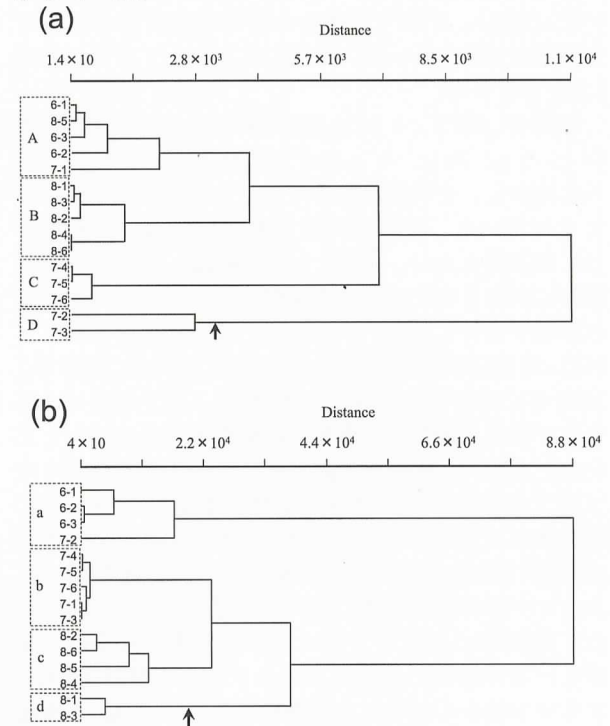


図4 毎木調査データを使用したクラスター分析の結果

(a) 胸高直径5cm以上の樹種については胸高断面積合計(BA)を基に解析; AからDの各群をグループと呼ぶ。(b) 胸高直径5cm未満の樹種については樹種幹数(N/a)を基に解析; aからdの各群をサブグループと呼ぶ。樹形図上の距離(distance)の表示尺度は、Wishart's (1969) objective function<sup>26)</sup>で表した。矢印はグループ分けをした樹形図の枝の位置を示す。

表2 クラスター分析によって得られた各グループにおける胸高直径5 cm以上の樹種の相対胸高断面積合計 (RBA, %)

種名	Plot	グループ A					グループ B					グループ C			グループ D	
		6-1	6-2	6-3	7-1	8-5	8-1	8-2	8-3	8-4	8-6	7-4	7-5	7-6	7-2	7-3
		BA(m <sup>2</sup> /ha)	50.5	70.9	42.5	84.8	52.9	40.5	43.6	36.6	45.0	47.0	71.8	68.7	88.4	47.6
アカマツ	<i>Pinus densiflora</i>	81.3	51.3	70.4	45.3	75.8	45.8	33.7	49.0	54.4	49.0	83.6	81.8	81.8	-	-
アカマツ (枯死木)		-	30.3	4.4	-	0.4	-	-	-	2.8	0.5	-	-	-	45.8	39.8
ヒノキ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	-	-	-	-	18.9	17.5	18.9	-	35.9	42.1	-	-	-	-	-
コナラ	<i>Quercus serrata</i>	-	0.3	-	34.7	-	-	-	2.8	-	1.1	-	-	-	33.7	8.3
スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>	-	-	-	-	-	14.5	40.3	30.9	5.2	-	-	-	-	-	-
ハリギリ	<i>Kalopanax pictus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37.8
リュウブ	<i>Clethra barbinervis</i>	5.3	11.5	7.4	-	3.6	4.8	1.8	-	1.7	1.6	4.4	3.1	3.9	4.7	-
イヌブナ	<i>Fagus japonica</i>	-	-	-	5.2	-	-	0.9	-	-	-	-	-	-	-	8.5
アカシデ	<i>Carpinus lasiflora</i>	-	-	-	0.7	-	-	-	-	-	-	4.9	9.0	1.7	-	1.0
ネジキ	<i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>elliptica</i>	1.6	1.7	8.4	0.8	-	1.1	-	-	-	-	1.0	-	0.6	9.7	-
クリ	<i>Castanea crenata</i>	1.6	-	-	-	-	9.8	4.4	7.1	-	4.8	-	-	-	-	-
マンサク	<i>Hamamelis japonica</i>	-	2.6	5.0	-	-	-	-	-	-	-	1.5	0.3	2.7	3.7	1.8
モンゴリナラ類	<i>Quercus mongolica</i>	0.8	-	-	-	-	3.3	-	5.8	-	-	4.3	-	-	-	-
アオダモ	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	0.5	0.3	-	-	-	0.7	-	-	-	0.9	-	0.6	3.3	1.7	-
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	-	-	-	4.3	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4
アオハダ	<i>Ilex macrospoda</i>	-	-	-	1.9	-	1.2	-	-	-	-	-	1.7	-	0.8	-
ハクウンボク	<i>Styrax obassia</i>	-	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.7
タカノツメ	<i>Evdlopanax innovans</i>	5.2	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-
ブナ	<i>Fagus crenata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	2.0	1.6	-	-
ツガ	<i>Tsuga sieboldii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	-	-
ウラジロノキ	<i>Sorbus japonica</i>	1.5	0.3	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
コンシアブラ	<i>Acanthopanax scladophylloides</i>	-	-	-	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
モミ	<i>Abies firma</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8
ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i>	-	-	-	-	-	-	-	4.5	-	-	-	-	-	-	-
ウリカエデ	<i>Acer crataegifolium</i>	-	0.5	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
カスミザクラ	<i>Prunus verecunda</i>	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ヤシヤブシ	<i>Alnus maximowiczii</i>	-	-	-	-	-	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ヤマボウシ	<i>Cornus kousa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-
コハウチワカエデ	<i>Acer sieboldianum</i>	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	-
シラキ	<i>Sapium japonicum</i>	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-
ウリハダカエデ	<i>Acer rufinerve</i>	-	-	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
アカヤシオ	<i>Rhododendron pentaphyllum</i> var. <i>nikoense</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0



表3 クラスタ分析によって得られた各サブグループにおける胸高直径5cm未満の樹種幹数（N/a）

種名	サブグループ a				サブグループ b					サブグループ c				サブグループ d		総計
	6-1	6-2	6-3	7-2	7-1	7-3	7-4	7-5	7-6	8-2	8-4	8-5	8-6	8-1	8-3	
アブラツツジ <i>Enkianthus subaeolus</i>	164	140	132	80	4	-	-	-	20	-	-	-	12	-	-	552
ヤマツツジ <i>Rhododendron kaempferi</i>	24	-	4	4	-	-	-	4	12	12	-	32	44	88	92	316
リョウブ <i>Clethra barbinervis</i>	16	8	8	-	-	-	-	8	-	32	32	60	32	76	44	316
ネジキ <i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>elliptica</i>	16	36	52	8	-	-	8	8	-	16	-	8	-	12	-	164
バイカツツジ <i>Rhododendron semibarbatum</i>	-	-	-	28	-	-	-	-	-	8	4	60	16	-	-	116
ナツハゼ <i>Vaccinium oldhamii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	-	12	-	-	68
ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	8	32	20	-	-	64
ミヤマガマズミ <i>Viburnum wrightii</i>	16	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	12	8	-	44
オトコヨソメ <i>Viburnum phlebotrichum</i>	4	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	28	-	40
マンサク <i>Hamamelis japonica</i>	-	8	-	-	-	-	-	-	-	8	20	-	-	-	4	40
ヤマウルシ <i>Rhus trichocarpa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	8	4	-	20	4	40
シロヤシオ <i>Rhododendron quinquefolium</i>	-	-	-	-	-	-	12	24	-	-	-	-	-	-	-	36
トウゴクミツバツツジ <i>Rhododendron vuduanum</i>	-	12	20	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36
アオハダ <i>Ilex macrospora</i>	-	8	-	-	-	-	4	-	4	-	-	4	-	4	8	32
シラキ <i>Sapindus japonicum</i>	-	-	-	-	-	8	-	-	4	-	-	-	-	20	-	32
ウラジロノキ <i>Sorbus japonica</i>	-	8	-	4	-	-	-	4	-	-	-	4	-	4	-	24
タカノツメ <i>Evodiapanax innovans</i>	4	4	4	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	16
カスミザクラ <i>Prunus verecunda</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	12
スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	12
アオダモ <i>Fraxinus sieboldiana</i>	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	8
アズキナシ <i>Sorbus alnifolia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	8
ウミズミザクラ <i>Prunus grayana</i>	-	4	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	8
コナラ <i>Quercus serrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	8
イロハモミジ <i>Acer palmatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	8
アカシデ <i>Carpinus laxiflora</i>	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
アカマツ <i>Pinus densiflora</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
アカヤシオ <i>Rhododendron pentaphyllum</i> var. <i>nikoense</i>	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
イヌブナ <i>Fagus japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	4
カマツカ <i>Pourthiaea villosa</i> var. <i>laevis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
クリ <i>Castanea crenata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
モンゴリナラ類 <i>Quercus mongolica</i>	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
総計 (N/a)	244	236	220	132	4	8	24	64	44	108	128	216	156	288	156	2,028

## 胸高直径（DBH）5cm 未満の樹種組成

DBH < 5cm の樹種について、樹種幹数（N/a）に基づくクラスタ分析の結果を図 4b に示した。各調査プロットは、図 4b の矢印の位置で区切ると 4 つのグループに分かれた。Plot 6-1、6-2、6-3、7-2 をサブグループ a、Plot 7-1、7-3、7-4、7-5、7-6 をサブグループ b、Plot 8-2、8-4、8-5、8-6 をサブグループ c、Plot 8-1、8-3 をサブグループ d とし、このサブグループ毎に DBH < 5cm の樹種幹数を表 3 に示した。

表 3 において各グループの特徴を見ると、サブグループ b は DBH < 5cm の樹種の総幹数が 4 ～ 64 本と、他のサブグループと比べてかなり少なかった。サブグループ a、c、d の総幹数は 108 ～ 288 本とかなり多く、その大部分はツツジ科の樹種によって占められていた。その中でも、サブグループ a は他の調査プロットでは少ないアブラツツジが最も多かった。サブグループ c は、他の調査プロットにはないバイカツツジ、ナツハゼがみられた。さらにサブグループ c では DBH < 5cm のスギおよびヒノキも多くみられた。サブグループ d は、サブグループ c と同じ 8 林班小班に設置された調査プロットであるが、DBH < 5cm のスギ、ヒノキはなく、他の調査プロットと比べてヤマツツジが多かった。

## 林分タイプ

毎木調査データのクラスタ分析によって得られたグループおよびサブグループの組み合わせから、A-a 群、A-b 群、A-c 群、B-c 群、B-d 群、C-b 群、D-a 群および D-b 群の 8 つの林分タイプが得られた（表 4）。

表 4 毎木調査データのクラスタ分析によって得られたグループおよびサブグループの対応関係

Plot	6-1	6-2	6-3	7-1	8-5	8-2	8-4	8-6	8-1	8-3	7-4	7-5	7-6	7-2	7-3
グループ (DBH ≥ 5cm)	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	C	D	D
サブグループ (DBH < 5cm)	a	a	a	b	c	c	c	c	d	d	b	b	b	a	b

## 各調査プロットのアカマツの本数と健全度

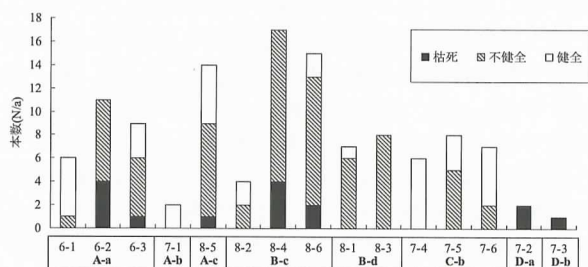


図 5 毎木調査プロットにおけるアカマツの本数と健全度

A から D および a から d の各群は毎木調査データのクラスタ分析によって得られたグループおよびサブグループ名をそれぞれ示し、その組み合わせによって 8 つのまとまりが得られた。アカマツの健全度は尾崎ほか<sup>14)</sup>を参考にして判定した。

各調査プロットにおける 1a (=100m<sup>2</sup>) 当たりのアカマツの本数と健全度を図 5 に示した。全体的に不健全木が多くみられたが、林分タイプによる大きな違いはみられなかった。ただ、C-b 群の Plot 7-4、7-5 および 7-6 では、アカマツの枯死木が見られず、生存木が 6 ～ 8 本であり、そのうち健全木は 3 ～ 6 本と、他の調査プロットと比較して多くみられた。また、D-a および D-b 群ではアカマツ枯死木が 1 ～ 2 本あるだけで、本数、健全度ともに悪かった。

## 考 察

### 1. 過去 31 年間のアカマツ林の林相変化

過去 31 年間で船生演習林のアカマツ林は減少し続けていた。アカマツ林の減少に最も大きな影響を与えた土地利用変化はヒノキの拡大造林であり、特に 1975 年から 1986 年の間に多くのヒノキが造林されていた。アカマツ林からヒノキ造林地へ変わったのは、主に南団地と 4 林班、5 林班および 6 林班であり、1975 年から 2006 年までに 5 林班・南団地 (1975 ~ 1982 年)、6 林班 (1984 ~ 1987 年)、4 林班 (1987 年)、6 林班 (1993 ~ 1998 年) の順に伐採されていることがわかった。

空中写真判読から、1975 年に 5 林班においてアカマツ林を伐採している様子がみられた。この時、周りには植栽後間もないヒノキの拡大造林地が広がっており、さらに飛地のように尾根に小さく分布するアカマツ林がみられた。また、林班沿革簿には 1980 年以前の林況に関する記載はないが、1968 年、1972 年および 1973 年にそれぞれ皆伐された 5 林班ち、い<sub>1</sub>、い<sub>2</sub> の各小班当たりの伐採材積 (m<sup>3</sup>) をみると、針葉樹と広葉樹が、それぞれ、ち小班では 1880 と 290、い<sub>1</sub> 小班では 794 と 39、い<sub>2</sub> 小班では 1324 と 39 と、針葉樹に若干の広葉樹を交えていた。したがって、これらの小班は、皆伐以前はアカマツ林であったと考えられる。これらのことから、5 林班において、1975 年はアカマツ林の伐採途中であり、それ以前にはアカマツ林はさらに広く分布していたと考えられる。

船生演習林においてアカマツが尾根以外にも広く分布していた理由として、第一に土壌との関連性が考えられる。演習林内で唯一土壌調査と土壌図作成のなされた 4 林班および 6 林班の調査結果によると、各林班は、日射量の多い南から西斜面の割合が高いこと、傾斜が急であること、土壌が浅く基岩が露出しやすいこと、上昇斜面 (凸型急斜面) が多いことから、偏乾亜型を含む乾性型の土壌 (B<sub>A</sub> 型、B<sub>B</sub> 型、B<sub>C</sub> 型、B<sub>D(d)</sub> 型および B<sub>L(d)</sub> 型) の占める割合が、4 林班で 68.6%、6 林班で 69.1% と高いことが知られている<sup>16, 27)</sup>。このような乾性土壌の広がりによって、アカマツ以外の樹種の侵入や成長が抑えられ、アカマツ林が広く分布するものと推察される。また、九州大学宮崎演習林の事例<sup>9)</sup>のように、鉾山がアカマツ林の成立に関係していることも考えられる。塩谷町の高原山麓や船生演習林周辺は金属鉱物を含む岩石地層がみられ、古くは江戸時代前半から鉾山開発が行われてきた<sup>18)</sup>。船生演習林周辺には、日光鉾山や栃木鉾山 (天頂鉾山) といった銅産出を中心とした鉾山が明治後半に開業している<sup>18)</sup>。また、演習林内には坑口跡が転々と見られるほか、南団地には鉾山の“ズリ”捨て場跡に成立したアカマツ林もみられることから、鉾山に関連した利用がなされていた時代があったことを物語っている。宮本<sup>10)</sup>によると、銅の精錬には広葉樹 (雑木) の炭は適さず、マツ炭でなければならなかったとされる。したがって、船生演習林に現在広くみられるアカマツ林の中には、採掘・精錬所の周辺に成立していたアカマツ林や広葉樹林が伐採されたことにより成立あるいは維持されて

きたアカマツ林もある可能性が考えられる。

過去 31 年間に成立した新規のアカマツ林は、1975 年から 1986 年が最も増加面積が多く、1995 年と 2006 年では増加面積は減少している (図 1)。1986 年以降に成立した新規アカマツ林は、主に 1975 年に植栽されて間もない尾根沿いのヒノキ造林地で発生していた。アカマツ林を伐採してヒノキに改植したが、伐採による光環境の好転と尾根沿いのためヒノキの成長が悪く、アカマツの陽樹としての更新特性から再びアカマツが侵入・定着したためと考えられる。このような状況は船生演習林の第 1 次経営案にも指摘されており<sup>24)</sup>、1955 年当時、明治 42 年の国有林特別経営時代に植栽されたスギ、ヒノキの造林地のほとんどはアカマツの侵入によって混交林を形成していたとある。したがって、船生演習林においては、乾性型の土壌条件と関連して、アカマツの更新が旺盛であるといえる。

アカマツ林からヒノキ人工林への変化の次に多くみられたのがアカマツ林から落葉広葉樹林への変化である。しかし、その面積は、ヒノキ人工林と比べてわずかなものであった。アカマツ林のマツ枯れ後の二次遷移を調べた森下・安藤<sup>11)</sup>によると、マツ枯れ後は谷地形において落葉広葉樹林への移行が進むとされている。本研究でも 4 林班および 7 林班の谷筋から斜面下部においてアカマツ林から落葉広葉樹林への変化がみられた。栃木県では 1980 年に松くい虫被害のピークをむかえ、被害区域面積は 18,000ha とされる<sup>22)</sup>。しかし、船生演習林では過去 31 年間でアカマツ林から落葉広葉樹林へ変化した面積は 3.4ha と小さく、大規模面積のマツ枯れによるアカマツ林の林相変化は見られなかった。マツ枯れ被害は、アカマツの成長がよく、斜面の比較的下部で土壌形成や遷移進行が早く、アカマツ以外の高木性樹種の生育に適した立地で高いといわれている<sup>3)</sup>。このことから、船生演習林においては、マツ枯れ被害のおきやすい立地に成立していたアカマツ林の多くは 1975 年以降ヒノキ植林地に変化したために、結果としてマツ枯れ被害を受けた林分が少なく、アカマツ林から落葉広葉樹林へ移行した面積も小さかったものと推察される。

### 2. アカマツ林の林分構造と変化

クラスター分析によって得られたアカマツ林の 8 つの林分タイプ中には主要な 4 つの林分タイプがみられた。

A-a 群は、斜面上部に見られ、林冠層にアカマツが優占し、下層には高密度のアブラツツジがみられる、アブラツツジ優占型の林分構造である。アカマツ・ヤマツツジ群集のうち、バイカツツジ亜群集の識別種としてアブラツツジは専制的価値が高く、アブラツツジ生態群が報告されている<sup>23)</sup>。バイカツツジ亜群集では、比較的アカマツの成長が悪いとされているが、同じくアカマツが優占する C-b 群と比べて、A-a 群のアカマツの BA 合計は若干小さい傾向はみられるものの、アカマツが林冠層で優占する成熟した林分である。一方、C-b 群は尾根から斜面上部にみられ、A-a 群と同様に林冠層でアカマツが優占する林分であるが、A-a 群の



平均胸高直径 24.2cm および平均樹高 13.5m (N=23) に対して、32.7cm および 17.0m (N=21) とより大きく健全なものが多く、アカマツ優占型の林分とみなすことができる。いずれのタイプも階層構造は明瞭で、高さ 10 m 付近を境に、それより上ではアカマツが優占し、それより下では高木性あるいは小高木・低木樹種がみられる（図 6；表 5）。

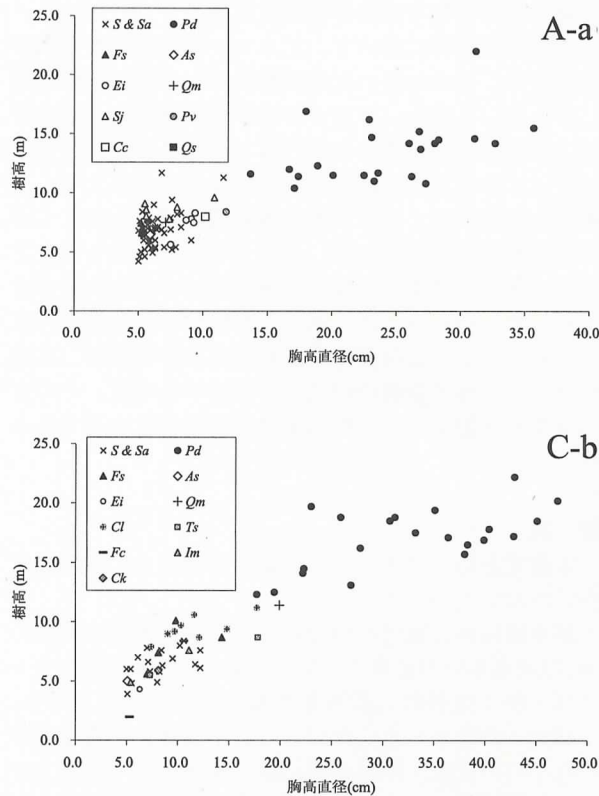


図 6 各樹種における胸高直径 (>5cm) と樹高の関係

S & Sa, 低木および亜高木；Pd, アカマツ；Fs, アオダモ；As, コハウチワカエデ；Ei, タカノツメ；Qm, モンゴリナラ類；Sj, ウラジロノキ；Pv, カスミザクラ；Cc, クリ；Qs, コナラ；Cl, アカシデ；Ts, ツガ；Fc, プナ；Im, アオハダ；Ck, ヤマボウシ；低木および亜高木に属する主な樹種は A-a においてはヨウブ 63%、ネジキ 11%、マンサク 11% であり、C-b においてはヨウブ 48%、ネジキ 32% である。

九州中部山岳地帯のアカマツ天然生林は、大面積の裸地を生み出すような、大規模かつ強度な攪乱が起こらない限り、将来はツガ・モミ林に移行するとされ、高木性落葉広葉樹は亜高木層および低木層にとどまり、林冠構成樹となることはほとんどないとされる<sup>9)</sup>。一方でマツ枯れによってアカマツが枯死した林分では、地形やマツ枯れ以前の林分構造によって林相変化のパターンに差異が生じること<sup>11)</sup>や、生態的特性を異にした樹種群の移り変わりによって二次遷移が進行すること<sup>2)</sup>が知られている。

A-a 群ではツガ、モミおよびアカマツ稚樹は全く見られなかった。アカマツは典型的な陽樹であり、実生は被陰により健全な発育を妨げられ、発育初期段階までに死亡する割合が大きいとされることから<sup>5, 19)</sup>、アブラツツジ等のツツジ科樹種によって鬱閉する林床でのアカマツの更新は困難であろう。したがって、当面はアブラツツジ優占型のアカマツ林が継続するものと推察される。C-b 群も閉鎖したアカマツ優占型の林分構造であり、明瞭な階層構造がみられることから、当面はアカマツ林として継続してゆくと思われる。ただ、ツガが見られることから、國崎の報告<sup>9)</sup>にあるように、ツガ林に移行する可能性も考えられる。ただ、斜面地形のアカマツ林では、マツ枯れ後マツ・落葉広葉樹混交林へ移行するパターンがみられる<sup>11)</sup>ことから、斜面地形においては、A-a 群や C-b 群といった安定的なアカマツ林であっても、単木レベルの小規模のアカマツの枯死を通して、アカマツ・落葉広葉樹混交林ないし落葉広葉樹林に移行する可能性はある。斜面上部から中部に位置している D-a 群と D-b 群はその一例と考えられる。D-a 群と D-b 群は樹高の高いアカマツの枯死木とともにコナラやハリギリといった高木性落葉広葉樹が林冠層を形成していた。D-a 群と D-b 群は、アカマツの下層にあった落葉広葉樹が林冠木の単木的な枯死によって林冠を形成するに至った落葉広

表 5 A-a および C-b 群のアカマツ林における胸高直径 5cm 以下、樹高 1.3m 以上の各樹種幹数の樹高階分布

種名		樹高階 (m)								
		<2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	合計
A-a	タカノツメ <i>Evodiopanax innovans</i>	4	8	.	.	.	.	.	.	12
	アオハダ <i>Ilex macropoda</i>	4	4	.	.	.	.	.	.	8
	ウラジロノキ <i>Sorbus japonica</i>	.	.	.	.	4	4	.	.	8
	ウワミズザクラ <i>Prunus grayana</i>	.	.	.	4	.	.	.	.	4
	モンゴリナラ類 <i>Quercus mongolica</i>	.	.	4	.	.	.	.	.	4
	ツツジ科 <i>Ericaceae</i>	336	168	28	16	32	12	4	4	600
	低木および小高木 <i>shrubs and subarbors</i>	4	8	28	8	8	8	.	.	64
合計 (N/a)		348	188	60	28	44	24	4	4	700
C-b	アオハダ <i>Ilex macropoda</i>	.	.	8	.	.	.	.	.	8
	アカシデ <i>Carpinus laxiflora</i>	.	.	.	.	.	4	.	.	4
	イヌブナ <i>Fagus japonica</i>	.	.	4	.	.	.	.	.	4
	ウラジロノキ <i>Sorbus japonica</i>	.	.	4	.	.	.	.	.	4
	ウワミズザクラ <i>Prunus grayana</i>	4	.	.	.	.	.	.	.	4
	タカノツメ <i>Evodiopanax innovans</i>	.	.	4	.	.	.	.	.	4
	ツツジ科 <i>Ericaceae</i>	52	32	4	4	.	.	.	.	92
低木および小高木 <i>shrubs and subarbors</i>		4	.	.	.	.	8	.	.	12
合計 (N/a)		60	32	24	4	0	12	0	0	132

\*ツツジ科として、A-a ではアブラツツジ（幹数割合 73%）、ネジキ（17%）、トウゴクミツバツツジ（5%）およびヤマツツジ（5%）が、C-b ではシロヤシオ（39%）、アブラツツジ（22%）、ネジキ（17%）、ヤマツツジ（17%）およびアカヤシオ（4%）が含まれる。

\*\*その他の低木・小高木として、A-a ではヨウブ、マンサク、ミヤマガマズミおよびオトコヨウゾメが、C-b ではヨウブとシラキが含まれる。



葉樹移行型の林分構造と考えられる。A-a 群や C-b 群においては、亜高木層にアオダモ、アカシデ、ウラボシ、タカノツメ、ブナなどの高木性樹種とリョウブ、ネジキがみられる（図 6）。アカマツ・コナラが優占する閉鎖林冠下の更新様式を調べた石田<sup>4)</sup>では、耐陰性の低いコナラ・ミズナラといった更新樹は 5 年以上生存することはなかったが、その一方で、耐陰性が高く、閉鎖林冠下においては緩慢な伸長成長をしながら長期生存可能なコシアブラ、マルバアオダモ、リョウブおよびヤマモミジといった樹種が亜高木・低木層を構成していた。したがって、A-a や C-b 群において、亜高木層から低木層にかけてわずかにみられたコナラやモンゴリナラ類は、低い耐陰性による閉鎖林冠下での高い死亡率を、重い種子生産による定着の確実性<sup>17)</sup>と早い成長速度によって補うことで、アカマツの枯死等による更新の機会が訪れるまで一定の若木密度を維持している<sup>4)</sup>と考えられる。コシアブラと種子散布様式の類似しているタカノツメ、リョウブ、アオダモといった耐陰性の高い樹種は、林冠下で長期間生存可能な戦略によって亜高木層に留まっていると考えられる。以上のような落葉広葉樹林への移行は、落葉樹の新界が遅れる尾根地形<sup>11)</sup>に近い A-a や C-b 群よりも斜面地形にある D-a 群や D-b 群においてはよく進行するものと推察される。

B-c 群と B-d 群は、アカマツが林冠を形成するが、その下層に植栽されたスギ、ヒノキが混交する林分構造である。しかし、スギ、ヒノキ、そして、植栽後に侵入・定着したアカマツともに極めて直径が小さく、不健全木や枯死木が多かった。両群ともアカマツとスギ、ヒノキが密生することによりいずれの樹種の成長にも悪影響を及ぼしていると考えられる。このことから、両群は今後成長不良によって衰退していく、スギ・ヒノキ衰退型と考えられる。河原<sup>7)</sup>は、ヒノキ・アカマツ混交二段林にすることにより、総材積成長量・落葉落枝量の増大や土壌の流亡防止機能という利点も挙げているが、これには適切な密度管理が必要である。本研究でみられた B-c 群と B-d 群ではこのような効果が有効に発揮されてはならず、反対に高密度による弊害を起していると考えられる。このような林分については、アカマツ林に誘導していく管理が必要であろう。

これらの主要な 4 タイプには含まれなかったが、A-b 群 (Plot7-1) は林冠をアカマツが形成してはいるが、その本数が少ないこと、DBH<5cm の亜高木・低木層を構成する樹種がほとんどないこと、DBH ≥ 5cm の種組成にはコナラやイヌブナなど落葉広葉樹がアカマツに次いで高い RBA を示していること、Plot7-1 と同一小班に設置したプロットが D-a 群 (Plot7-2) と D-b 群 (Plot7-3) でアカマツ枯死木のみプロットであったことから、今後アカマツが枯死し、高木性樹種が成長することで、D-a 群と D-b 群のような落葉広葉樹移行型のアカマツ林に移行する可能性がある。A-c 群 (Plot8-5) は、林冠下には B-c 群と同じで成長の悪いスギとヒノキが多数あり、スギ・ヒノキ衰退型を示すであろう。しかし、林冠を形成するアカ

マツの健全木のみについては、下層に密生するスギ、ヒノキが衰退・枯死後も生存する可能性が考えられる。

### 3. 今後の課題

本研究では、船生演習林においてアカマツ林が尾根以外の斜面地にも広く分布しており、その理由として船生演習林の土壌条件や鉱山利用との関連性が考えられた。今後は演習林内の広域的な土壌調査や鉱山利用に関する聞き取り調査が必要である。

空中写真解析において、アカマツ林は樹冠の形状が不明瞭で、きめが粗いため広葉樹林との境界判別は難しかった。しかし、アカマツ林から広葉樹林への移行は、両林分の境界域から生じると予想される。したがって、アカマツ林の経時的な林相変化をみる上で、現地踏査を基にしてこのような境界域の輪郭を捉えておく必要がある。さらに、このようにして得られたアカマツ林とヒノキ・スギ人工林の領域を船生演習林全域から差し引くことで、落葉広葉樹林の分布図の作成が可能となる。このような広葉樹林の分布図は、広葉樹林のもつ様々な機能が見直されている今日、その資源量等を把握する上での重要な基礎情報となるであろう。

### 謝 辞

本研究を行うにあたり、大変多くの方々にお力添えをいただいた。

船生演習林の職員の皆様には、度重なる現地調査の中、毎回温かい対応をしていただいた。栃木県庁の方々には、快く塩谷町の森林基本図を提供していただき、本研究への励ましをいただいた。宇都宮大学農学部森林科学科の先輩・同輩諸氏には、現地調査への協力やデータの解析・論文のとりまとめに際して助言およびお力添えを頂いた。とりわけ、森林生態学・育林学研究室の新井諭氏、森林工学研究室の村上文美氏には、自身の研究の合間を縫って GIS について多くのご助言と励ましをいただいた。森林生態学・育林学研究室の新井潤子氏より林班沿革簿のデータ整理の補助と演習林の天然生林に関する情報をいただいた。2 名の論文査読者の方々より論文原稿に対する有益なコメントを賜った。本論文の完成に至るまで、様々な形で協力くださった以上の方々に心より御礼申し上げる。

### 引用文献

- 1) 阿部敏夫・谷 誠：松くい虫による松枯れが流出に及ぼす影響，日林誌，67，p261-270 (1985)
- 2) 達 良俊・大沢雅彦：都市景観域における放棄アカマツ植林の二次遷移とアカマツの一斉枯死による影響，日生誌，42，p81-93 (1992)
- 3) 藤原道郎・豊原源太郎・波田善夫・岩月善之助：広島市におけるアカマツ二次林の遷移段階とマツ枯れ被害度，日生誌，42，p71-79 (1992)
- 4) 石田 仁：コナラ・アカマツ二次林主要高木性樹種の樹高分布タイプと更新特性，日林誌，78，p410-418 (1996)
- 5) 飯塚和也・榮澤純二・宮本尚子・石栗 太・横田信三・吉澤伸夫：栃木県の低山地域に天然分



- 布しているミズナラの堅果、苗および葉の形態的特徴、並びに形態異常苗の出現，宇大演報，44，p9-14（2008）
- 6) 加藤正人：空中写真（改訂森林リモートセンシング－基礎から応用まで－，加藤正人編，日本林業調査会，東京），p49-65（2007）
- 7) 河原輝彦：ヒノキ林に混じったアカマツの働き，林業技術 541，p12-15（1987）
- 8) 小林裕之：単写真と市販 DEM を用いた簡易オルソフォトの効率的な作成方法の検討，日林誌，86，p283-286（2004）
- 9) 國崎貴嗣：九州中部山岳地帯におけるアカマツ天然生林の構造発達様式に関する研究，岩大演報，30，p1-95（1999）
- 10) 宮本常一：日本民俗史 2 山に生きる人びと，未来社，東京，234pp（1964）
- 11) 森下和路・安藤 信：京都市街地北部森林のマツ枯れに伴う林相変化，森林研究，74，p35-45（2002）
- 12) McCune, B. and Grace, J. B.: Analysis of Ecological Communities, MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA (2002)
- 13) McCune, B. and Mefford, M. J.: PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 3.0, MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA (1999)
- 14) 尾崎煙雄・藤平量郎・大場達之・斎木健一・木村陽子・福田 洋・藤田素子：房総半島のヒメコマツ個体群の現状（房総丘陵におけるヒメコマツ個体群の緊急調査報告書，房総のヒメコマツ研究グループ，千葉），p20-27（2001）
- 15) 林野庁：森林・林業白書，日本林業協会，東京，244pp（2008）
- 16) 佐藤 保：宇都宮大学附属演習林（6 林班）の土壌の分布と化学的性質，宇都宮大学農学部林学科平成元年度卒業論文，54pp（1990）
- 17) 清和研二・菊沢喜八郎：落葉広葉樹の種子重と当年生稚苗の季節的伸長様式，日生誌，39，p5-15（1989）
- 18) 塩谷町自然誌編集委員会編：塩谷町の自然，塩谷町，栃木，652pp（2000）
- 19) 陶山佳久・中村 徹：アカマツ人工林におけるアカマツ当年生実生の個体群動態，日林誌，70，p510-517（1988）
- 20) 只木良也：人間の利用と自然の変遷－日本文化の進展とマツ林の盛衰－（森林環境科学，只木良也，朝倉書店），p138-156（1996）
- 21) 谷本丈夫・内藤健司・田坂聡明・小金澤正昭：宇都宮大学農学部附属演習林船生経営区第 6 次編成経営計画説明書，宇都宮大学農学部附属演習林，栃木，46pp（2000）
- 22) 栃木県林務部：栃木県森林・林業統計書，栃木県林務部，栃木，78pp（2006）
- 23) 薄井 宏：人工造林地の植物社会学的研究 1 宇都宮大学船生演習林の植生図示と造林学的意義，宇大演報，4-5：p27-58（1966）
- 24) 宇都宮大学船生演習林：船生経営区第 1 次編成経営案説明書 昭和 29 年度調査，宇都宮大学農学部附属演習林，栃木，49pp（1955）
- 25) 渡辺 宏：新森林航測テキストブック，日本林業技術協会，東京，259pp（1980）
- 26) Wishart, D.: An algorithm for hierarchical classifications, Biometrics, 25, p165-170 (1969)
- 27) 山田浩二：宇都宮大学船生演習林 4 林班の土壤特性とその分布，宇都宮大学農学部森林科学科平成 6 年度卒業論文，59pp（1995）